



(19)

(11) Publication number: 09238489,

Generated Document.

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 08046484

(51) Intl. Cl.: H02P 5/00

(22) Application date: 04.03.96

(30) Priority:

(43) Date of application  
publication: 09.09.97(84) Designated  
contracting states:

(71) Applicant: OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(72) Inventor: IMAI YUUGO

(74) Representative:

(54) MOTOR SPEED  
CONTROL METHOD AND  
MOTOR SPEED CONTROL  
EQUIPMENT

(57) Abstract:

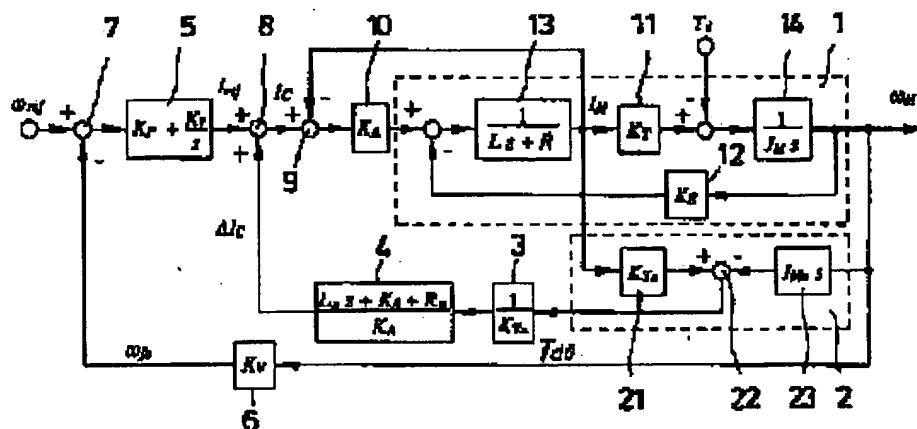
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a control method provided with a current compensation means which can avoid the influence of external disturbance upon motor speed without depending on the gain value of a current amplifier.

SOLUTION: This method controls the speed of a motor by using a control equipment having a current control loop for controlling an armature current  $I_M$  as a minor loop, to a speed control loop for controlling a motor speed. The estimation value of motor torque is obtained by multiplying the armature current  $I_M$  of a motor and the nominal value  $K_T n$  of a torque constant  $K_T$ . The inverse model of integration characteristics of the moment of inertia  $J_M$  of the armature 14 of the motor is simulated and a differentiator 23 is constituted. From the above estimation

BEST AVAILABLE COPY

value of the motor torque, the estimation value of the motor torque obtained by differentiating a motor speed detection value by using the differentiator 23 is reduced, thereby obtaining the estimation value  $Td0$  of external disturbance torque. By using a proportional differentiator 4 constituted by simulating the inverse model of a current loop and an amplifier 3 having a gain equal to the inverse of the nominal value of a motor torque constant, specified operation is applied to the estimation value  $Td0$  of the external disturbance torque. The obtained value is adopted as the compensation value  $\Delta I_C$  of a current command value.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-238489

(43) 公開日 平成9年(1997)9月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 2 P 5/00

識別記号

庁内整理番号

F 1

H 0 2 P 5/00

技術表示箇所

X

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 19 H)

(21) 出願番号 特願平8-46484

(22) 出願日 平成8年(1996)3月4日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 今井 裕五

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

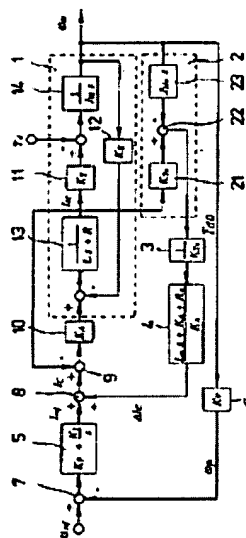
(74) 代理人 弁理士 奈良 武

(54) 【発明の名称】 モータ速度制御方法及びモータ速度制御装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、電流増幅器のゲイン値によらず、モータ速度への外乱の影響を回避できる電流補償手段を備えたモータ速度制御方法を提供する。

【解決手段】 モータ速度を制御する速度制御ループに対し、電機子電流  $I_m$  を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つモータの制御装置を用いたモータの速度制御方法で、モータの電機子電流  $I_m$  と、トルク定数  $K_T$  の公称値  $K_{Tn}$  とを乗じて得られたモータトルクの推定値から、モータの回転子 14 の慣性モーメント  $J_M$  の積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器 23 によりモータ速度検出値を微分して得られた、モータトルクの推定値を減じて、外乱トルクの推定値  $T_{d0}$  を求め、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器 4 と、モータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器 3 とにより、外乱トルクの推定値  $T_{d0}$  に所定の演算を施した値を、電流指令値の補償値  $\Delta I_c$  とするものである。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つモータの制御装置を用いたモータの速度制御方法において、モータの電機子電流検出値と、モータトルク定数の公称値とを乗じて得られたモータトルクの推定値から、モータの回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器によりモータ速度検出値を微分して得られた、モータトルクの推定値を遅延して、外乱トルクの推定値を求め、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器と、モータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすること、を特徴とするモータ速度制御方法。

【請求項 2】 前記電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器を、低域通過フィルタと増幅器と加算器とにより比例微分機能を有するように構成し、この比例微分機能とモータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすること、を特徴とする請求項 1記載のモータ速度制御方法。

【請求項 3】 モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つ制御装置を備えたモータの速度制御装置において、前記制御装置は、外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模擬してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を有すること、を特徴とするモータ速度制御装置。

sは、比例ゲイン $K_p$ と、積分ゲイン $K_i$ とを持っている。

【0004】 比例積分器5の出力は、モータ1に対する電流指令値 $I_{ref}$ であり、加算器8で電流補償値 $\Delta I_c$ と加算され、新たな電流指令値 $I_c$ となる。

【0005】 電流指令値 $I_c$ は加算器9により、モータ1の電機子電流検出値の符号を反転した値と加算された後、低域増幅器10に入力され、所定の電力に増幅され、増幅器10の出力でモータ1を駆動する。

【0006】 モータ1は、電機子部13の電機子インダクタンスL、電機子抵抗R、トルク定数部11のトルク定数 $K_T$ 、逆起電力定数部12の逆起電力定数 $K_E$ 、回転子14の慣性モーメント $J_M$ として図7のブロック線図に示している。尚、モータ1の粘性定数は小さいものとして省略してある。

【0007】 前記モータ1からは、検出出力として電機子電流 $I_M$ 、モータ速度 $\omega_M$ が出力され、また入力として外乱トルク $T_d$ が存在する。モータ1のモータ速度 $\omega_M$ は、速度帰還増幅器6で所定の値に増幅され加算器7により速度指令値 $\omega_{ref}$ から演算される。

【0008】 図7に示す外乱トルクオブザーバ2では、検出された電機子電流 $I_M$ をトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ （添字のnは公称値nominalを表す、以下同じ）に乘じて得たモータ1の発生トルクの推定値と、検出されたモータ速度 $\omega_M$ をモータ回転子14の慣性モーメント $J_M$ の積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器23により、モータ速度 $\omega_M$ を微分して得られたモータ1の発生トルクの推定値とを加算器22に入力し、二つのトルクの推定値の差を外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ として下記数1の式で求める。微分器23ではモータ1の回転子14の慣性モーメント $J_M$ の公称値 $J_{Mn}$ とする。尚、数1において、sはラプラス演算子である。

【0009】

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術の分野】 本発明は、モータに加わる外乱トルクを推定し、この推定値に基づきモータへの指令値を補償するモータの速度制御方法及びモータ速度制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 工作機械や、ロボットシステムの高精度な位置決め制御や力制御を実現するために、重力、慣性力、摩擦等外力の影響を考慮し、サーボ系のロバストネスを向上させる方法として、外乱オブザーバを使用した加速度制御系が提案されている（「ロバスト高速サーボ制御技術」トリケップス社（平成3年9月27日）：154頁乃至163頁；「モーションコントロール」コロナ社（1993年3月25日）57頁乃至59頁）。

【0003】 図7に示すブロック線図を用いて従来例を説明する。図示しない制御装置より出力された速度指令値 $\omega_{ref}$ は、加算器7によりモータ速度帰還出力 $\omega_b$ と加算された後、比例積分器5に入力される。比例積分器

【数1】

$$T_{d0} = K_{Tn} I_M - J_{Mn} \omega_M s$$

【0010】 そして、求めた外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を打ち消すように、この外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ に、増幅器3によりトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ を乗じ、増幅器3の出力である電流補償値 $\Delta I_c$ を加算器8により電流指令値 $I_{ref}$ と加算することにより、電流指令値 $I_{ref}$ を補償し、補償された新たな電流指令値 $I_c$ として出力する。

【0011】 外乱トルクオブザーバ2と増幅器3とにより求めた電流補償値 $\Delta I_c$ により、電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の電流指令値 $I_{ref}$ 、及び外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は、下記数2となる。

【0012】

【数2】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L s^2 + J_M (R + K_A) s + K_T K_E} I_{rd} - \frac{L s + R + K_A}{J_M L s^2 + J_M (R + K_A) s + K_T K_E} T_d$$

【0013】電流補償値 $\Delta I_c$ により補償した場合の電流指令値 $I_{ref}$ 及び外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は、下記数3となる。

【0014】

【数3】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L s^2 + J_M (\delta K_A + R) s + K_T K_E} I_{rd} - \frac{L s + R}{J_M L s^2 + J_M (\delta K_A + R) s + K_T K_E} T_d$$

$$\delta = \frac{K_T J_{Mn}}{J_M K_{Tn}}$$

【0015】電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は、数2の第1項である。

【0016】また、電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償した場合の電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は、数3の第1項である。

【0017】数2、数3において、前記トルク定数 $K_T$ とその公称値 $K_{Tn}$ 、前記慣性モーメント $J_M$ とその公称値 $J_{Mn}$ とを各々略等しく設定すれば、数3における $\delta$ は略1となり、数2と数3の分母も略等しくなり、電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ も略等しいと考えてよい。

【0018】同様に、電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1の速度出力 $\omega_M$ までの伝達関数は、数2第2項であり、補償した場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は数3第2項であり、分母は略等しいと考えてよい。

【0019】電流補償値 $\Delta I_c$ により補償しない場合には、制御系の安定性を高くするために導入した電流増幅器10のゲイン $K_A$ が数2第2項の分子にあるので、外乱トルク $T_d$ の影響が $K_A$ 倍されてモータ速度 $\omega_M$ に現れている。

【0020】一方、電流補償値 $\Delta I_c$ により補償した場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数である数3第2項の分子には、電流増幅器10のゲイン $K_A$ が現れないので、外乱トルク $T_d$ のモータ速度 $\omega_M$ に与える影響が小さくなっている。

【0021】従って、外乱トルクオブザーバ2により求めた電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償することにより、電流制御で制御系の安定性を高くすると、同時に外乱トルク $T_d$ がモータ速度 $\omega_M$ に与える

影響を小さくすることの2つの効果を得ることができ

る。  
【0022】しかし、モータ1のモータ速度 $\omega_M$ を純粋に微分すると、高域においてノイズが大きくなるので、現実には、図8に示すように積分動作を持つ低域通過フィルタ26を使用して微分機能を持たせ、外乱トルク $T_d$ を推定し推定値 $T_{d0}$ を求める。

【0023】外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を求める方法を図8をも参照して説明する。検出されたモータ1の電機子電流 $I_M$ を、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ のゲインを持つ増幅器21に入力し、 $K_{Tn}$ 倍して得た値と、検出されたモータ速度 $\omega_M$ とを、回転子14の慣性モーメント $J_M$ の公称値 $J_{Mn}$ と、低域通過フィルタ25の遮断周波数 $\omega F1$ とを乗じて得た値のゲインを持つ増幅器25に入力して、 $\omega F1 \cdot J_{Mn}$ 倍して得た値を加算器24により加算し、加算器24の出力を、遮断周波数 $\omega F1$ を持つ低域通過フィルタ26に入力し、低域通過フィルタ26の出力と、増幅器25の出力との差を加算器27で演算し、その出力を外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ として推定する。推定した推定値 $T_{d0}$ は、数4で表すことができる。

【0024】

【数4】

$$T_{d0} = \frac{\omega F1}{s + \omega F1} (K_{Tn} I_M - J_{Mn} \omega_M s)$$

【0025】数4に示すように、積分動作を持つ低域通過フィルタ26で構成した外乱トルクオブザーバ2は、微分器23を用いて求めた外乱トルク $T_d$ である数1に示す推定値 $T_{d0}$ を低域通過フィルタ26を通したものと等価となる。

【0026】この外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ をゲインに増幅器3により $1/K_{Tn}$ 倍し電流補償値 $\Delta I_c$ を算出する。そして、電流補償値 $\Delta I_c$ を加算器8により電流指令値 $I_{ref}$ と加算することにより、電流指令値 $I_{ref}$ を補償し、補償された新たな電流指令値 $I_c$ として出力する。低域通過フィルタ25の遮断周波数 $\omega F1$ は制御対象の固有周波数よりも大きく、また、ノイズの影響を受けないように、できるだけ大きく設定すれば、外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ の遅れは非常に小さくなり、事実上遅れを無視しても差し支えなく、かつ微分器を使用しないのでノイズの影響を受けない外乱トルクオブザーバ2を構成できる。

【0027】図9に実際にシミュレーションを行った時の、速度制御系のモータ1等の諸定数を代入したブロック図を示す。図9に示すブロック図において、定数はそれぞれ、 $L = 5.7 \text{ mH}$ 、 $R = 18 \Omega$ 、 $K_T = 0.183 \text{ Nm/A}$ 、 $K_E = 0.183 \text{ Vs/rad}$ 、 $J_M = 3.06 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$ 、 $\omega F1 = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ 、 $K_A = 32$ 、 $K_F = 60$ 、 $K_P = 3$ 、 $K_V = 1$ 。

72×10<sup>-2</sup>とした。

【0028】図10は前記ブロック図に基づいて行ったシミュレーションの結果であり、横軸に各々時間(sec)、縦軸にモータ1の回転速度(rpm)及びモータ電流値をアンペア(A)で併せて示してある。モータ起動後0.2秒で0.3Nmの大きさの外乱トルクTdをモータ軸に与え、モータ起動後0.5秒に外乱トルクTdを取り去った場合のシミュレーションである。

【0029】図11は前記定数で表されるモータ1を2台連結し、一台を被制御モータ、他方を負荷用モータとして実験したときの被制御モータの実測値である。モータ1の回転速度をrpmで、モータ電流値をアンペア(A)で併せて示してあることは図10に示すシミュレーションの場合と同じである。

【0030】但し、モータ1は1000rpmで定常回転しており、図11は外乱トルクTdを印加、除去したときのみを示している。両データとも外乱トルクTd印加時に約150rpmの回転速度低下、外乱トルクTd除去時に約150rpmの回転速度増加が読み取られる。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】従来例に示されるように、外乱トルクオブザーバ2により求めた、外乱トルクTdの推定値Td0により電流指令値Iref補償した制御系は、特性の優れたものであるが、次のような課題がある。即ち、数2、数3の外乱トルクTdからモータ速度ωMまでの伝達関数ωM(s)を比較すると解るように、電流指令値Irefを補償すると、外乱トルクTdの影響は補償しない場合の(Ls+R)/(Ls+R+KA)倍となり、電流増幅器10のゲインKAの値を大きくすれば外乱トルクTdの影響は限りなく小さくすることができる。

【0032】しかしながら、ゲインKAを大きくすれば制御系が不安定になることは理論的に明らかであって、現実にも飽和等の問題があるためゲインのおおきさには限界があり、従って、外乱トルクTdの影響の抑圧にも限界がある。

【0033】本発明は上記課題に鑑みて、電流増幅器のゲイン値によらず、モータ速度への外乱の影響を回避できる電流補償手段を備えたモータ速度制御方法及びモータ速度制御装置を提供することを目的とする。

【0034】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つモータの制御装置を用いたモータの速度制御方法において、モータの電機子電流検出値と、モータトルク定数の公称値とを乗じて得られたモータトルクの推定値から、モータの回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータ速度

検出値を微分して得られた、モータトルクの推定値を減じて、外乱トルクの推定値を求め、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器と、モータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすることを特徴とするものである。

【0035】請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明の発明における前記電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器を、低域通過フィルタと増幅器と加算器とにより比例微分機能を有するように構成し、この比例微分機能とモータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすることを特徴とするものである。

【0036】請求項3記載の発明は、モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つ制御装置を備えたモータの速度制御装置において、前記制御装置は、外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模倣してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を有することを特徴とするものである。

【0037】請求項1記載の発明の作用は以下の通りである。即ち、モータの電機子電流検出値と、モータのトルク定数の公称値とを乗じて得たモータトルクの推定値から、モータ回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータの速度検出値を微分して得たモータトルクの推定値を減じ、減じて求めた外乱トルクの推定値を、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器により比例微分して電流補償値を求め、この電流補償値により電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧するものである。

【0038】請求項2の作用は以下の通りである。即ち、モータの電機子電流検出値と、モータのトルク定数の公称値とを乗じて得たモータトルクの推定値から、モータ回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータの速度検出値を微分して得たモータトルクの推定値を減じ、減じて求めた外乱トルクの推定値を、低域通過フィルタと、加算器により構成した電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器により比例微分して電流補償値を求め、この電流補償値により電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧するものである。

【0039】請求項3の作用は以下の通りである。即ち、制御装置は外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模倣してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を備えているので、この補償手段により、電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0041】【実施の形態1】

（構成）図1は本発明の実施の形態1のモータ1の速度制御装置のブロック図を示すものである。図1において、比例微分器4以外の各制御要素は、図7に示す従来例と同一の構成であるため同一の符号を付して示している。

【0042】図1に示す実施の形態1のモータ1の速度制御装置は、図7に示す従来例の構成に加えて、前記増幅器3と加算器8との間のマイナーループに、比例微分器4を付加したことが特徴である。

【0043】実施の形態1のモータ1の速度制御装置において、検出されたモータ1の電機子電流  $I_M$  はトルク定数  $K_T$  の公称値  $K_{Tn}$  のゲインを持つ増幅器21に入力される。また、検出されたモータ速度  $\omega_M$  は、回転子14の慣性モーメント  $J_M$  の積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器23に入力される。そして、増幅器21の出力と、微分器23の出力とは、加算器22に入力され加算される。

【0044】前記加算器22の出力である推定値  $T_d0$  は、トルク定数  $K_T$  の公称値  $K_{Tn}$  の逆数  $1/K_{Tn}$  のゲインを持つ増幅器3に入力される。増幅器3の出力は、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器4に入力され、その出力は電流補償値  $\Delta I_c$  として前記加算器8に入力される。加算器8のもう一方の入力としては比例積分器5からの出力が入力され、さらに、加算器8の出力は加算器9へ送られる。

【0045】（作用）実施の形態1のモータ1の速度制御装置によれば、モータ1の電機子電流  $I_M$  と、トルク

定数  $K_T$  の公称値  $K_{Tn}$  とを乗じて得たモータトルクの推定値と、回転子14の慣性モーメント  $J_M$  の積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器23により、モータ速度  $\omega_M$  を微分して得たモータトルクの推定値とを用いて演算し、外乱トルク  $T_d$  の推定値  $T_d0$  を求めることは、従来例と同じでありその値は前記数1で求めた値と同様となる。

【0046】推定された外乱トルク  $T_d$  の推定値  $T_d0$  は、トルク定数  $K_T$  の公称値  $K_{Tn}$  の逆数のゲイン  $1/K_{Tn}$  を持つ増幅器3により増幅することにより、増幅器3の出力は、 $T_d0 / K_{Tn} = (K_{Tn} \cdot I_M - J_M \cdot \omega_M \cdot s) / K_{Tn}$  となり、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器4に入力される。

【0047】そして、比例微分器4の出力である電流補償値  $\Delta I_c$  は下記数5となる。但し、電機子部1のインダクタンス  $L$  の公称値を  $L_n$ 、電機子抵抗  $R$  の公称値を  $R_n$  とする。

【0048】

【数5】

$$\Delta I_c = \frac{(L_n s + K_A + R_n)(K_{Tn} I_M - J_M \omega_M s)}{K_A K_{Tn}}$$

【0049】前記電流補償値  $\Delta I_c$  は加算器8に入力され、電流指令値  $I_{ref}$  と加算され新たな電流指令値  $I_c$  として加算器9に入力される。

【0050】前記数5で表される電流補償値  $\Delta I_c$  を考慮し、図1の構成に基づいて求めた電流指令値  $I_{ref}$  及び外乱トルク  $T_d$  からモータ速度  $\omega_M$  までの伝達関数  $\omega_M(s)$  は下記数6となる。

【0051】

【数6】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M \{(L - L_n) + \delta L_n\} s^2 + J_M \{(R - R_n) + \delta(K_A + R_n)\} s + K_T K_E} I_{ref} \\ \cdot \frac{(L - L_n) s + (R - R_n)}{J_M \{(L - L_n) + \delta L_n\} s^2 + J_M \{(R - R_n) + \delta(K_A + R_n)\} s + K_T K_E} T_d \\ \delta = \frac{K_T J_M n}{J_M K_{Tn}}$$

【0052】前記トルク定数  $K_T$  とその公称値  $K_{Tn}$ 、前記慣性モーメント  $J_M$  とその公称値  $J_{Mn}$  とを各々略等しく設定すれば、数6における  $\delta$  は略1となり、また、 $L - L_n$  及び  $R - R_n$  も各々略0となり、電流指令値  $I_{ref}$  からモータ速度  $\omega_M$  までの伝達関数  $\omega_M(s)$  は下記数7となる。

【0053】

【数7】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L_n s^2 + J_M (K_A + R_n) s + K_T K_E} I_{ref}$$

【0054】数7は、前記数3において、 $\delta$  を略1とし

た場合の第1項と等価であり、外乱トルク  $T_d$  からモータ速度  $\omega_M$  までの伝達関数である数3の第2項に相当する項は消えることになる。

【0055】（効果）本実施の形態1によれば、推定した外乱トルク  $T_d$  の推定値  $T_d0$  を、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器4と、トルク定数の公称値  $K_{Tn}$  の逆数  $1/K_{Tn}$  のゲインを持つ増幅器3により、比例微分して求めた値を、電流補償値  $\Delta I_c$  として電流指令値  $I_{ref}$  に加え、新たな電流指令値  $I_c$  とすることにより、数7に示すように、電流指令値  $I_{ref}$  に対するモータ1の応答特性を高くするための電流増幅器10のゲインを飽和等の問題のない最適値にすることがで

き、また外乱からモータ速度への影響を殆ど抑圧することができ、特性の優れたモータ1の速度制御装置を提供できる。

#### 【0056】実施の形態2】

（構成）図2は実施の形態2の速度制御装置のブロック図を示す。比例微分器42以外の各制御要素は図8に示す従来例と同一の構成である。

【0057】実施の形態2において、検出された電機子電流IMはトルク定数の公称値KTnのゲインを持つ増幅器21に入力される。モータ1のモータ速度ωMは、モータ回転子の慣性モーメントJmと低域通過フィルタ26の遮断周波数ωF1との積をゲインを持つ増幅器25に入力される。そして、増幅器21の出力と増幅器25の出力とは、加算器24に入力され、加算器24の出力は遮断周波数ωF1の低域通過フィルタ26に入力される。

【0058】さらに、低域通過フィルタ26の出力と増幅器25の出力とは加算器27により加算され、この加算器27の出力である推定値Td0は、トルク定数の公称値KTnの逆数1/KTnのゲインを持つ増幅器3に入力される。この増幅器3の出力は、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器42に入力され、その出力は電流補償値ΔIcとして加算器8に入力される。

【0059】比例微分器42では、モータ1の電機子インダクタンスの公称値Lnと低域通過フィルタ31の遮断周波数ωF2の積を電流増幅器10のゲインKAで除した値ωF2・Ln/Kaをゲインを持つ増幅器28と、電流増幅器10のゲインKAとモータ1の電機子抵抗の公称値Rnとの和を電流増幅器10のゲインKAで除した値をゲインを持つ増幅器29に、前記増幅器3の出力が入力される。

【0060】前記増幅器28の出力と増幅器29の出力とは加算器30に入力され、加算器30の出力は遮断周波数ωF2の低域通過フィルタ31に入力される。

【0061】さらに、低域通過フィルタ31の出力と増幅器28の出力とは加算器32に入力され、この加算器

32の出力、即ち、比例微分器42の出力は電流補償値ΔIcとして前記加算器8に入力される。また、加算器8のもう一方の入力には比例積分器5からの電流指令値Irefが入力され、加算器8の出力は加算器9に送られる。

【0062】（作用）本実施の形態2において、モータ1の電機子電流IMと、モータ1のトルク定数KTの公称値KTnとを乗じて得たモータトルクの推定値と、モータ1のモータ速度ωMと、モータ回転子の慣性モーメントの公称値Jmと低域通過フィルタ26の遮断周波数ωF1とを乗じて得た値とを加算する。

【0063】そして、この加算して得た値に遮断周波数ωF1の低域通過フィルタ26を作用させた得た値から、検出したモータ速度ωMとモータ回転子の慣性モーメントの公称値Jmと低域通過フィルタ26の遮断周波数ωF1とを乗じて得た値を減算して、外乱トルクTdの推定値Td0を求めることは、図8に示す従来例と同じでありこの場合の演算は前記数4となる。

【0064】推定された外乱トルクTdの推定値Td0は、トルク定数の公称値KTnの逆数1/KTnのゲインを持つ増幅器3により増幅することにより、この増幅器3の出力は、Td0/KTn=ωF1(KTn・IM-Jm・ωM・s)/KTn(s+ωF1)となり、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器42に入力される。

【0065】次に、図2を参照して比例微分器42の伝達関数を計算すると、ωF2/(s+ωF1)・(Ln・s+KA+Rn)/KAとなり、これは電流ループの逆モデルを模擬してなる図1に示す比例微分器4と遮断周波数ωF1の低域通過フィルタ26の各伝達関数の積になっている。従って、前記比例微分器42の出力である電流補償値ΔIcは下記数8で求めることができるただし、電機子インダクタンスの公称値をLn、電機子抵抗の公称値をRnとする。

【0066】

【数8】

$$\Delta I_c = \frac{\omega_{F1} \omega_{F2}}{(s + \omega_{F1})(s + \omega_{F2})} \left\{ \frac{(L_n s + K_A + R_n)(K_{Tn} I_M - J_{Mn} \omega_M s)}{K_A K_{Tn}} \right\}$$

【0067】前記電流補償値ΔIcは、加算器8に入力され、電流指令値Irefと加算され新たな電流指令値Icとして加算器9に送られる。

【0068】前記低域通過フィルタ26の遮断周波数ωF1と、低域通過フィルタ31の遮断周波数ωF2とを制御対象の固有周波数よりも充分大きく設定すれば、外乱トルクTdの推定、及び電流補償値ΔIcの演算の遅れは非常に小さくなり、事実上その遅れを無視しても差し支えなく、電流補償値ΔIcとして数5を採用しても合理性を失わない。

【0069】また、遮断周波数ωF1、ωF2は、制御対象の固有周波数よりも充分大きいという条件を満足すれば

同一でも異なってもよい。電流補償値ΔIcを数5とすれば、電流指令値Iref及び外乱トルクTdからモータ速度ωMまでの伝達関数は数7となり、数3の第1項と等しいと考えて良く、数3においてΔを略1とした場合の第1項と等価とであり、外乱トルクTdからモータ速度ωMまでの伝達関数である数3の第2項に相当する項は消えることは実施の形態1の場合と同様である。

【0070】図3に実際にシミュレーションを行った時の、速度制御系のモータ1の諸定数を代入したブロック図を示す。諸定数は従来例と同じくそれぞれ、L=5.7mH、R=18Ω、KT=0.183Nm/A、KE=0.183Vs/rad、JM=3.06×10



$-5\text{ kg m}^2$ ,  $\omega F1 = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ ,  $K_A = 3$   
2,  $K_F = 60$ ,  $K_P = 3$ ,  $K_V = 1$ ,  $7.2 \times 10^{-2}$ と  
し、また、 $\omega F2 = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ とした。

【0071】図4は前記ブロック図に基づいて行ったシミュレーションの結果を示すものであり、モータ1の回転速度をrpm、モータ電流値をアンペア(A)で併せて示してある。モータ1の起動後0.2秒で0.3Nmの大きさの外乱トルクTdをモータ軸に与え、起動後0.5秒で外乱トルクTdを取り去った場合のシミュレーションである。

【0072】図5は前記定数で表されるモータ1を2台連結し、一方を被制御モータ、他方を負荷用のモータとして実験したときの被制御モータの実測値である。モータ1の回転速度をrpm、モータ電流値をアンペア

(A)で併せて示してあることは図4の場合と同様である。但し、モータ1は1000rpmで定常回転しており、図5は外乱トルクTdを印加、除去したときのみを示している。

【0073】図6、図7から明らかなように、シミュレーション結果と実測値とはよく一致しており、また数7が示すとおり外乱トルクTdからモータ1の回転出力への影響は極小に抑圧されている。

【0074】尚、本実施の形態2では、前記比例微分器42を図6に示す回路例に示すように合計4個の演算増幅器51乃至55を用いて構成することができる。また、回転速度や電流値等の値をアナログ/デジタル変換した後、デジタルシグナルプロセッサを用いた数値演算により前記比例微分器42と同様な比例微分機能を実現するようにすることもできる。

【0075】また、推定して求めた外乱トルクTdの推定値Td0を、遮断周波数 $\omega F1$ の低域通過フィルタ26の伝達関数との積を伝達関数として持つ比例微分器42と、トルク定数KTの公称値KTnの逆数 $1/KTn$ のゲインを持つ増幅器3とにより、比例微分して求めた値を電流補償値 $\Delta I_0$ として電流指令値Irefに加え、新たな電流指令値I0とすることにより、数7に示すように、電流指令値Irefに対するモータ1の応答特性を高くするための電流増幅器10のゲインKAを飽和等の問題のない最適値にすることができ、また外乱トルクTdからモータ速度 $\omega F1$ への影響を全て抑圧することができる。

【0076】このことは、コンピュータによるシミュレーション、及び実験で確認されたとおりである。また、前記比例微分器42を低域通過フィルタ31と増幅器28、29と加算器32とにより構成したので、ノイズの影響の少ない特性の優れた速度制御装置を提供できる。

【0077】

【発明の効果】以上説明した本発明によれば、電流ループの特性を補償し、外乱トルクオブザーバの特性を向上させ、応答性が良く、外乱抑圧能力が高く、実用性の高い高性能なモータの速度制御方法及び速度制御装置を提

供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態2のブロック図である。

【図3】実施の形態2に基づきシミュレーションを行った速度制御系のブロック図である。

【図4】図3の構成に基づきシミュレーションを行った場合の速度制御系のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】実施の形態2に基づき、同一のモータを2台連結し、一方を負荷として実験を行った速度制御系の実験結果を示す図である。

【図6】実施の形態2の比例微分器の一例を示す回路構成図である。

【図7】従来例のブロック図である。

【図8】従来例のブロック図である。

【図9】従来例に基づきシミュレーションを行った速度制御系のブロック図である。

【図10】図9の構成に基づきシミュレーションを行った速度制御系のシミュレーション結果を示す図である。

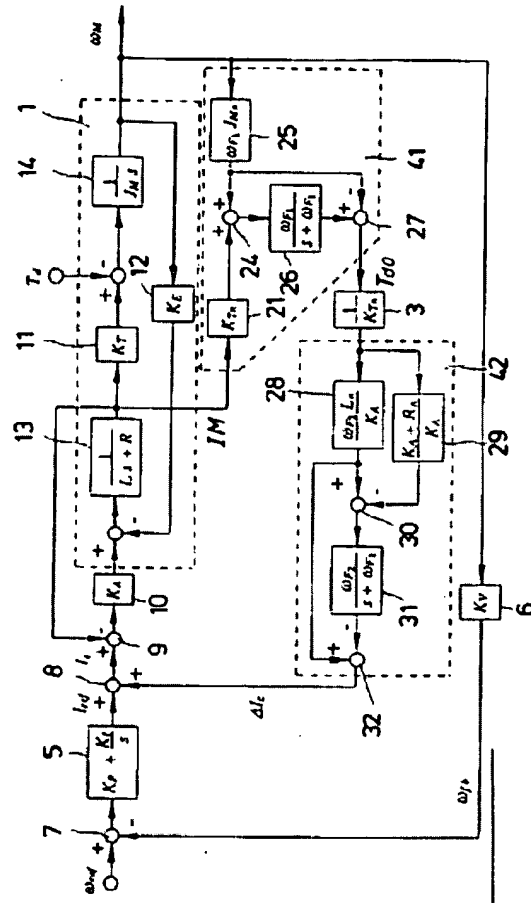
【図11】従来例に基づき、同一のモータを2台連結し、一方を負荷として実験を行った速度制御系の実験結果を示す図である。

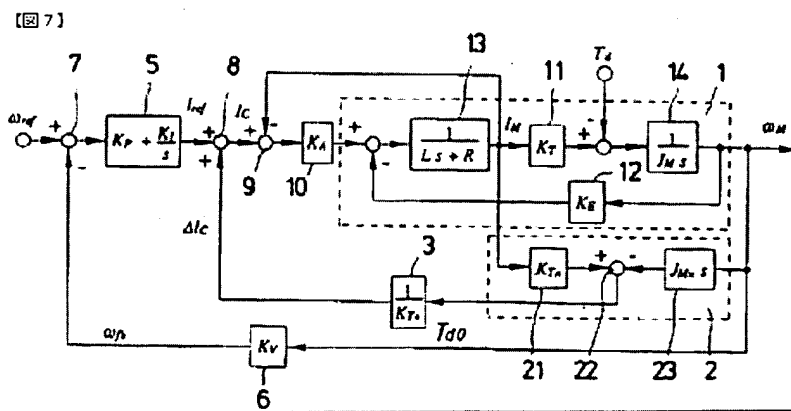
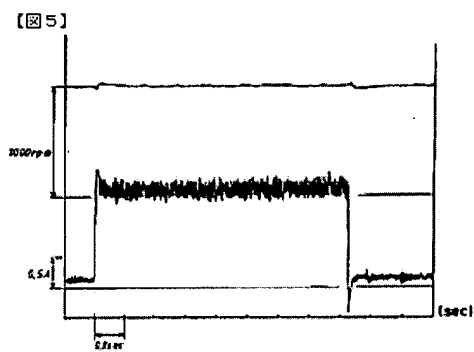
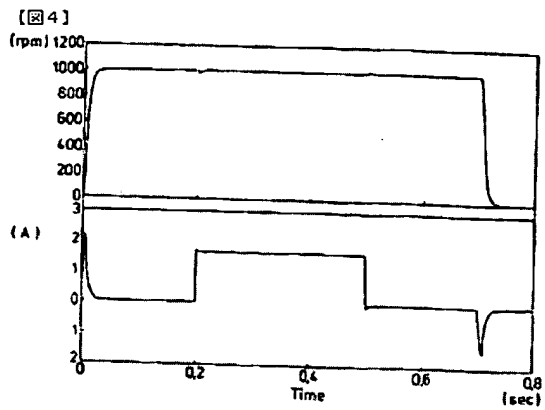
【符号の説明】

- 1 モータ
- 2 外乱トルクオブザーバ
- 3 増幅器
- 4 比例微分器
- 5 比例微分器
- 6 速度帰還増幅器
- 7 加算器
- 8 加算器
- 9 加算器
- 10 電流増幅器
- 11 トルク定数部
- 12 逆起電力定数部
- 14 回転子
- 21 増幅器
- 22 加算器
- 23 微分器
- 24 加算器
- 25 増幅器
- 26 低域通過フィルタ
- 27 加算器
- 28 増幅器
- 29 増幅器
- 30 加算器
- 31 低域通過フィルタ
- 41 外乱トルクオブザーバ

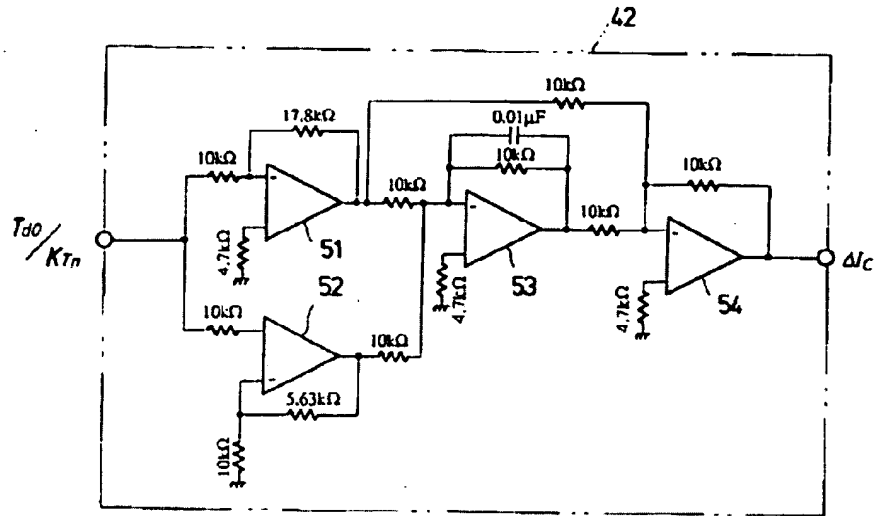


图 2

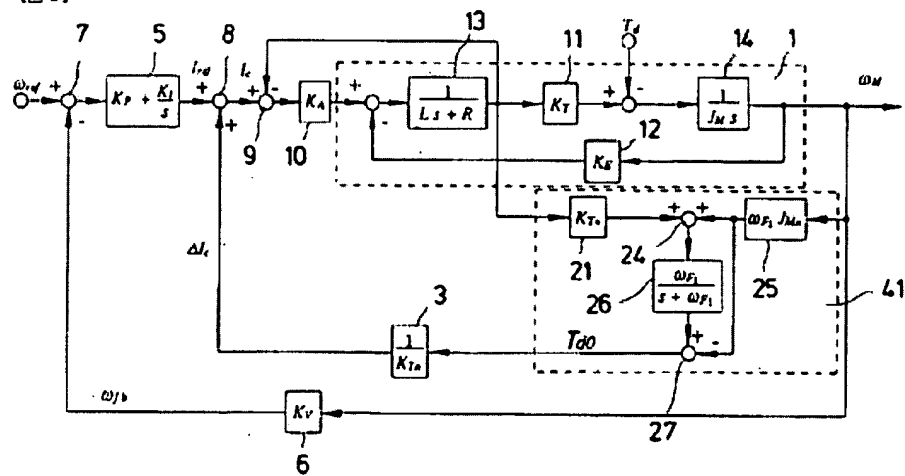




【例 6】

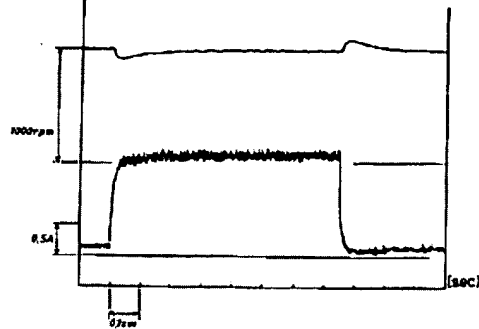


【圖 8】





【図 11】



【手続補正書】

【提出日】平成 8 年 4 月 4 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つモータの制御装置を用いたモータの速度制御方法において、モータの電機子電流検出値と、モータトルク定数の公称値とを乗じて得られたモータトルクの推定値から、モータの回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータ速度検出値を微分して得られた、モータトルクの推定値を減じて、外乱トルクの推定値を求め、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器と、モータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすること、を特徴とするモータ速度制御方法。

【請求項 2】 前記電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器を、低域通過フィルタと増幅器と加算器とにより比例微分機能を有するように構成し、この比例微分機能とモータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすること、を特徴とする請求項 1 記載のモータ速度制御方法。

【請求項 3】 モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマ

イナーループとして持つ制御装置を備えたモータの速度制御装置において、前記制御装置は、外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模倣してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を有することを特徴とするモータ速度制御装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の詳細な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術の分野】本発明は、モータに加わる外乱トルクを推定し、この推定値に基づきモータへの指令値を補償するモータの速度制御方法及びモータ速度制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】工作機械や、ロボットシステムの高精度な位置決め制御や力制御を実現するために、重力、慣性力、摩擦、弾力等の外力の影響を考慮し、サーボ系のロバストネスを向上させる方法として、外乱オブザーバを使用した加速度制御系が提案されている（「ロバスト高速サーボ制御技術」トリケップス社（平成 3 年 9 月 27 日）：154 頁乃至 163 頁；「モーションコントロール」コロナ社（1993 年 3 月 25 日）57 頁乃至 59 頁）。

【0003】図 7 に示すブロック図を用いて従来例を説明する。図示しない制御装置より出力された速度指令値  $\omega_{ref}$  は、加算器 7 によりモータ速度帰還出力  $\omega_{fb}$  と加算された後、比例積分器 5 に入力される。比例積分器 5 は、比例ゲイン  $K_p$  と、積分ゲイン  $K_i$  とを持ってい

る。

【0004】比例積分器5の出力は、モータ1に対する電流指令値 $I_{ref}$ であり、加算器8で電流補償値 $\Delta I_c$ と加算され、新たな電流指令値 $I_c$ となる。

【0005】電流指令値 $I_c$ は加算器9により、モータ1の電機子電流検出値の符号を反転した値と加算された後、低通増幅器10に入力され、所定の電力に増幅され、増幅器10の出力でモータ1を駆動する。

【0006】モータ1は、電機子部13の電機子インダクタンス $L$ 、電機子抵抗 $R$ 、トルク定数部11のトルク定数 $K_T$ 、逆起電力定数部12の逆起電力定数 $K_E$ 、回転子14の慣性モーメント $J_M$ として図7のブロック図に示している。尚、モータ1の粘性定数は小さいものとして省略してある。

【0007】前記モータ1からは、検出力として電機子電流 $I_M$ 、モータ速度 $\omega_M$ が出力され、また入力として外乱トルク $T_d$ が存在する。モータ1のモータ速度 $\omega_M$ は、速度帰還増幅器6で所定の値に増幅され加算器7により速度指令値 $\omega_{ref}$ から減算される。

【0008】図7に示す外乱トルクオブザーバ2では、検出された電機子電流 $I_M$ をトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ （添字の $n$ は公称値 $nominal$ を表す、以下同じ）に掛けて得たモータ1の発生トルクの推定値と、検出されたモータ速度 $\omega_M$ をモータ回転子14の慣性モーメント $J_M$ の積分特性の逆モデルを模擬してなる微分器23により、モータ速度 $\omega_M$ を微分して得られたモータ1の発生トルクの推定値とを加算器22に入力し、二つのトルクの推定値の差を外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ として下記数1の式で求める。微分器23ではモータ1の回転子14の慣性モーメント $J_M$ の公称値 $J_{Mn}$ とする。尚、数1において、 $s$ はラプラス演算子である。

【0009】  
【数1】

$$T_{d0} = K_{Tn} I_M - J_{Mn} \frac{d\omega_M}{ds}$$

【0010】そして、求めた外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を打ち消すように、この外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ に、増幅器3によりトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ を乗じ、増幅器3の出力である電流補償値 $\Delta I_c$ を加算器8により電流指令値 $I_{ref}$ と加算することにより、電流指令値 $I_{ref}$ を補償し、補償された新たな電流指令値 $I_c$ として出力する。

【0011】外乱トルクオブザーバ2と増幅器3とにより求めた電流補償値 $\Delta I_c$ により、電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の電流指令値 $I_{ref}$ 、及び外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は、下記数2となる。

【0012】  
【数2】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L s^2 + J_M (R + K_A) s + K_T K_E} I_{ref} - \frac{L s + R + K_A}{J_M L s^2 + J_M (R + K_A) s + K_T K_E} T_d$$

【0013】電流補償値 $\Delta I_c$ により補償した場合の電流指令値 $I_{ref}$ 及び外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は、下記数3となる。

【0014】  
【数3】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L s^2 + J_M (\delta K_A + R) s + K_T K_E} I_{ref} - \frac{L s + R}{J_M L s^2 + J_M (\delta K_A + R) s + K_T K_E} T_d$$

$$\delta = \frac{K_T J_{Mn}}{J_M K_{Tn}}$$

【0015】電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は、数2の第1項である。

【0016】また、電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償した場合の電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は、数3の第1項である。

【0017】数2、数3において、前記トルク定数 $K_T$ とその公称値 $K_{Tn}$ 、前記慣性モーメント $J_M$ とその公称値 $J_{Mn}$ とを各々略等しく設定すれば、数3における $\delta$ は略1となり、数2と数3の分母も略等しくなり、電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ も略等しいと考えてよい。

【0018】同様に、電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償しない場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1の速度出力 $\omega_M$ までの伝達関数は、数2第2項であり、補償した場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は数3第2項であり、分母は略等しいと考えてよい。

【0019】電流補償値 $\Delta I_c$ により補償しない場合には、制御系の安定性を高くするために導入した電流増幅器10のゲイン $K_A$ が数2第2項の分子にあるので、外乱トルク $T_d$ の影響が $K_A$ 倍されてモータ速度 $\omega_M$ に現れている。

【0020】一方、電流補償値 $\Delta I_c$ により補償した場合の外乱トルク $T_d$ からモータ1のモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数である数3第2項の分子には、電流増幅器10のゲイン $K_A$ が現れないので、外乱トルク $T_d$ のモータ速度 $\omega_M$ に与える影響が小さくなっている。

【0021】従って、外乱トルクオブザーバ2により求めた電流補償値 $\Delta I_c$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償す



ることにより、電流制御で制御系の安定性を高くすることと、同時に外乱トルク $T_d$ がモータ速度 $\omega_M$ に与える影響を小さくすることの2つの効果を得ることができ

る。  
【0022】しかし、モータ1のモータ速度 $\omega_M$ を単純に微分すると、高域においてノイズが大きくなるので、現実には、図8に示すように積分動作を持つ低域通過フィルタ26を使用して微分機能を持たせ、外乱トルク $T_d$ を推定し推定値 $T_{d0}$ を求める。

【0023】外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を求める方法を図8をも参照して説明する。検出されたモータ1の電機子電流 $I_M$ を、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ のゲインを持つ増幅器21に入力し、 $K_{Tn}$ 倍して得た値と、検出されたモータ速度 $\omega_M$ とを、回転子14の慣性モーメント $J_M$ の公称値 $J_{Mn}$ と、低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ とを乗じて得た値のゲインを持つ増幅器25に入力して、 $\omega_{F1} \cdot J_{Mn}$ 倍して得た値を加算器24により加算し、加算器24の出力を、遮断周波数 $\omega_{F1}$ を持つ低域通過フィルタ26に入力し、低域通過フィルタ26の出力と、増幅器25の出力との差を加算器27で演算し、その出力を外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ として推定する。推定した推定値 $T_{d0}$ は、数4で表すことができ

る。

【0024】

【数4】

$$T_{d0} = \frac{\omega_{F1}}{s + \omega_{F1}} (K_{Tn} I_M - J_{Mn} \omega_M s)$$

【0025】数4に示すように、積分動作を持つ低域通過フィルタ26で構成した外乱トルクオブザーバ2は、微分器23を用いて求めた外乱トルク $T_d$ である数1に示す推定値 $T_{d0}$ を低域通過フィルタ26を通したものと等価となる。

【0026】この外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ をゲインに持つ増幅器3により $1/K_{Tn}$ 倍し電流補償値 $\Delta I_o$ を算出する。そして、電流補償値 $\Delta I_o$ を加算器8により電流指令値 $I_{ref}$ と加算することにより、電流指令値 $I_{ref}$ を補償し、補償された新たな電流指令値 $I_o$ として出力する。低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ は制御対象の固有周波数よりも大きく、また、ノイズの影響を受けないように、できるだけ大きく設定すれば、外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ の遅れは非常に小さくなり、事実上遅れを無視しても差し支えなく、かつ微分器を使用しないのでノイズの影響を受けない外乱トルクオブザーバ2を構成できる。

【0027】図9に実際にシミュレーションを行った時の、速度制御系のモータ1等の諸定数を代入したブロック図を示す。図9に示すブロック図において、定数はそれぞれ、 $L = 5.7 \text{ mH}$ 、 $R = 18 \Omega$ 、 $K_T = 0$ 、

$183 \text{ Nm/A}$ 、 $K_E = 0.183 \text{ Vs/red}$ 、 $J_M = 3.06 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$ 、 $\omega_{F1} = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ 、 $K_A = 32$ 、 $K_I = 60$ 、 $K_P = 3$ 、 $K_V = 1.72 \times 10^{-2}$ とした。

【0028】図10は前記ブロック図に基づいて行ったシミュレーションの結果であり、横軸に各々時間 $(\text{sec})$ 、縦軸にモータ1の回転速度 $(\text{rpm})$ 及びモータ電流値をアンペア $(\text{A})$ で併せて示してある。モータ起動後0.2秒で0.3Nmの大きさの外乱トルク $T_d$ をモータ軸に与え、モータ起動後0.5秒に外乱トルク $T_d$ を取り去った場合のシミュレーションである。

【0029】図11は前記定数で表されるモータ1を2台連結し、一台を被制御モータ、他方を負荷用モータとして実験したときの被制御モータの実測値である。モータ1の回転速度を $\text{rpm}$ で、モータ電流値をアンペア $(\text{A})$ で併せて示してあることは図10に示すシミュレーションの場合と同じである。

【0030】但し、モータ1は1000rpmで定常回転しており、図11は外乱トルク $T_d$ を印加、除去したときのみを示している。両データとも外乱トルク $T_d$ 印加時に約150rpmの回転速度低下、外乱トルク $T_d$ 除去時に約150rpmの回転速度増加が読み取られる。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】従来例に示されるように、外乱トルクオブザーバ2により求めた、外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ により電流指令値 $I_{ref}$ を補償した制御系は、特性の優れたものであるが、次のような課題がある。即ち、数2、数3の外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ を比較すると解るように、電流指令値 $I_{ref}$ を補償すると、外乱トルク $T_d$ の影響は補償しない場合の $(Ls + R) / (Ls + R + KA)$ 倍となり、電流増幅器10のゲイン $KA$ の値を大きくすれば外乱トルク $T_d$ の影響は限りなく小さくすることができる。

【0032】しかしながら、ゲイン $KA$ を大きくすれば制御系が不安定になることは理論的に明らかであって、現実にも飽和等の問題があってゲインのおおきさには限界があり、従って、外乱トルク $T_d$ の影響の抑圧にも限界がある。

【0033】本発明は上記課題に鑑みて、電流増幅器のゲイン値によらず、モータ速度への外乱の影響を回避できる電流補償手段を備えたモータ速度制御方法及びモータ速度制御装置を提供することを目的とする。

【0034】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つモータの制御装置を用いたモータの速度制御方法において、モータの電機子電流検出値と、モータトル

ク定数の公称値とを乗じて得られたモータトルクの推定値から、モータの回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータ速度検出値を微分して得られた、モータトルクの推定値を減じて、外乱トルクの推定値を求め、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器と、モータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすることを特徴とするものである。

【0035】請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明の発明における前記電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器を、低域通過フィルタと増幅器と加算器とにより比例微分機能を有するように構成し、この比例微分機能とモータトルク定数の公称値の逆数のゲインを持つ増幅器とにより、前記外乱トルクの推定値に所定の演算を施した値を電流指令信号の補償値とすることを特徴とするものである。

【0036】請求項3記載の発明は、モータ速度を制御する速度制御ループに対し、モータ電機子電流を制御する電流制御ループをマイナーループとして持つ制御装置を備えたモータの速度制御装置において、前記制御装置は、外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模倣してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を有することを特徴とするものである。

【0037】請求項1記載の発明の作用は以下の通りである。即ち、モータの電機子電流検出値と、モータのトルク定数の公称値とを乗じて得たモータトルクの推定値から、モータ回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータの速度検出値を微分して得たモータトルクの推定値を減じ、減じて求めた外乱トルクの推定値を、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器により比例微分して電流補償値を求め、この電流補償値により電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧するものである。

【0038】請求項2の作用は以下の通りである。即ち、モータの電機子電流検出値と、モータのトルク定数の公称値とを乗じて得たモータトルクの推定値から、モータ回転子の慣性モーメントの積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器によりモータの速度検出値を微分して得たモータトルクの推定値を減じ、減じて求めた外乱トルクの推定値を、低域通過フィルタと、加算器により構成した電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器により比例微分して電流補償値を求め、この電流補償値により電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧するものである。

【0039】請求項3の作用は以下の通りである。即ち、制御装置は外乱トルクの推定手段と、前記マイナーループの逆モデルを模倣してなる比例微分器とからなる電流指令値の補償手段を備えているので、この補償手段

により、電流指令値を補償することにより、外乱トルクのモータ速度への影響を抑圧することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0041】【実施の形態1】

（構成）図1は本発明の実施の形態1のモータ1の速度制御装置のブロック図を示すものである。図1において、比例微分器4以外の各制御要素は、図7に示す従来例と同一の構成であるため同一の符号を付して示している。

【0042】図1に示す実施の形態1のモータ1の速度制御装置は、図7に示す従来例の構成に加えて、前記増幅器3と加算器8との間のマイナーループに、比例微分器4を付加したことが特徴である。

【0043】実施の形態1のモータ1の速度制御装置において、検出されたモータ1の電機子電流 $I_M$ はトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ のゲインを持つ増幅器21に入力される。また、検出されたモータ速度 $\omega_M$ は、回転子14の慣性モーメント $J_{Mn}$ の積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器23に入力される。そして、増幅器21の出力と、微分器23の出力とは、加算器22に入力され加算される。

【0044】前記加算器22の出力である推定値 $T_{d0}$ は、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数のゲインを持つ増幅器3に入力される。増幅器3の出力は、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器4に入力され、その出力は電流補償値 $\Delta I_c$ として前記加算器8に入力される。加算器8のもう一方の入力としては比例微分器5からの出力が入力され、さらに、加算器8の出力は加算器9へ送られる。

【0045】（作用）実施の形態1のモータ1の速度制御装置によれば、モータ1の電機子電流 $I_M$ と、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ とを乗じて得たモータトルクの推定値と、回転子14の慣性モーメント $J_M$ の積分特性の逆モデルを模倣してなる微分器23により、モータ速度 $\omega_M$ を微分して得たモータトルクの推定値とを用いて演算し、外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を求めることは、従来例と同じでありその値は前記数1で求めた値と同様となる。

【0046】推定された外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ は、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ の逆数のゲイン $1/K_{Tn}$ を持つ増幅器3により増幅することにより、増幅器3の出力は、 $T_{d0}/K_{Tn} = (K_{Tn} \cdot I_M - J_{Mn} \cdot \omega_M \cdot s) / K_{Tn}$ となり、電流ループの逆モデルを模倣してなる比例微分器4に入力される。

【0047】そして、比例微分器4の出力である電流補償値 $\Delta I_c$ は下記数5となる。但し、モータ1の電機子インダクタンス $L$ の公称値を $L_n$ 、電機子抵抗 $R$ の公称値を $R_n$ とする。

【0048】

【数5】

$$\Delta I_C = \frac{(L_n s + K_A + R_n)(K_{Tn} I_M - J_{Mn} \omega_M s)}{K_A K_{Tn}}$$

【0049】前記電流補償値 $\Delta I_C$ は加算器8に入力され、電流指令値 $I_{ref}$ と加算され新たな電流指令値 $I_C$ として加算器9に入力される。

$$\omega_M(s) = \frac{\frac{K_A K_T}{J_M \{(L \cdot L_n) + \delta L_n\} s^2 + J_M \{(R \cdot R_n) + \delta(K_A + R_n)\} s + K_T K_E} I_{ref}}{\frac{(L \cdot L_n) s + (R \cdot R_n)}{J_M \{(L \cdot L_n) + \delta L_n\} s^2 + J_M \{(R \cdot R_n) + \delta(K_A + R_n)\} s + K_T K_E}} T_d}$$

$$\delta = \frac{K_T J_{Mn}}{J_M K_{Tn}}$$

【0052】前記トルク定数 $K_T$ とその公称値 $K_{Tn}$ 、前記慣性モーメント $J_M$ とその公称値 $J_{Mn}$ とを各々略等しく設定すれば、数6における $\delta$ は略1となり、また、 $L = L_n$ 及び $R = R_n$ も各々略0となり、電流指令値 $I_{ref}$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は下記数7となる。

【0053】

【数7】

$$\omega_M(s) = \frac{K_A K_T}{J_M L_n s^2 + J_M (K_A + R_n) s + K_T K_E} I_{ref}$$

【0054】数7は、前記数3において、 $\delta$ を略1とした場合の第1項と等価であり、外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数である数3の第2項に相当する項は消えることになる。

【0055】（効果）本実施の形態1によれば、推定し求めた外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器4と、トルク定数の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ のゲインを持つ増幅器3により、比例微分して求めた値を、電流補償値 $\Delta I_C$ として電流指令値 $I_{ref}$ に加え、新たな電流指令値 $I_C$ とすることにより、数7に示すように、電流指令値 $I_{ref}$ に対するモータ1の応答特性を高くするための電流増幅器10のゲインを飽和等の問題のない最適値にすることができ、また外乱からモータ速度への影響を殆ど抑圧することができ、特性の優れたモータ1の速度制御装置を提供できる。

【0056】【実施の形態2】

（構成）図2は実施の形態2の速度制御装置のブロック図を示す。比例微分器42以外の各制御要素は図8に示す従来例と同一の構成である。

【0057】実施の形態2において、検出された電機子電流 $I_M$ はトルク定数の公称値 $K_{Tn}$ のゲインを持つ増

【0050】前記数5で表される電流補償値 $\Delta I_C$ を考慮し、図1の構成に基づいて求めた電流指令値 $I_{ref}$ 及び外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数 $\omega_M(s)$ は下記数6となる。

【0051】

【数6】

器21に入力される。モータ1のモータ速度 $\omega_M$ は、モータ回転子の慣性モーメント $J_{Mn}$ と低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ との積をゲインに持つ増幅器25に入力される。そして、増幅器21の出力と増幅器25の出力とは、加算器24に入力され、加算器24の出力は遮断周波数 $\omega_{F1}$ の低域通過フィルタ26に入力される。

【0058】さらに、低域通過フィルタ26の出力と増幅器25の出力とは加算器27により加算され、この加算器27の出力である推定値 $T_{d0}$ は、トルク定数の公称値 $K_{Tn}$ の逆数 $1/K_{Tn}$ のゲインを持つ増幅器3に入力される。この増幅器3の出力は、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器42に入力され、その出力は電流補償値 $\Delta I_C$ として加算器8に入力される。

【0059】比例微分器42では、モータ1の電機子インダクタンスの公称値 $L_n$ と低域通過フィルタ31の遮断周波数 $\omega_{F2}$ の積を電流増幅器10のゲイン $K_A$ で除した値 $\omega_{F2} \cdot L_n / K_A$ をゲインに持つ増幅器28と、電流増幅器10のゲイン $K_A$ とモータ1の電機子抵抗の公称値 $R_n$ との和を電流増幅器10のゲイン $K_A$ で除した値をゲインに持つ増幅器29に、前記増幅器3の出力が入力される。

【0060】前記増幅器28の出力と増幅器29の出力とは加算器30に入力され、加算器30の出力は遮断周波数 $\omega_{F2}$ の低域通過フィルタ31に入力される。

【0061】さらに、低域通過フィルタ31の出力と増幅器28の出力とは加算器32に入力され、この加算器32の出力、即ち、比例微分器42の出力は電流補償値 $\Delta I_C$ として前記加算器8に入力される。また、加算器8のもう一方の入力には比例積分器5からの電流指令値 $I_{ref}$ が入力され、加算器8の出力は加算器9に送られる。

【0062】（作用）本実施の形態2において、モータ1の電機子電流 $I_M$ と、モータ1のトルク定数 $K_T$ の公称値 $K_{Tn}$ とを乗じて得たモータトルクの推定値と、モ

タ1のモータ速度 $\omega_M$ と、モータ回転子の慣性モーメントの公称値 $J_M$ と低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ とを乗じて得た値とを加算する。

【0063】そして、この加算して得た値に遮断周波数 $\omega_{F1}$ の低域通過フィルタ26を作用させて得た値から、検出したモータ速度 $\omega_M$ とモータ回転子の慣性モーメントの公称値 $J_M$ と低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ とを乗じて得た値を減算して、外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を求めることは、図8に示す従来例と同じであり、この場合の演算は前記数4となる。

【0064】推定された外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ は、トルク定数の公称値 $K_T$ の逆数 $1/K_T$ のゲインを持つ増幅器3により増幅することにより、この増幅器3の出力は、 $T_{d0}/K_T = \omega_{F1} (K_T n \cdot I_M - J_M \cdot \omega_M \cdot s) / K_T n (s + \omega_{F1})$ となり、電流ループの逆モデルを模擬してなる比例微分器42に入力される。

【0065】次に、図2を参照して比例微分器42の伝達関数を計算すると、 $\omega_{F2} / (s + \omega_{F2}) \cdot (L_n \cdot s + K_A + R_n) / K_A$ となり、これは電流ループの逆モデルを模擬してなる図1に示す比例微分器4と遮断周波数 $\omega_{F2}$ の低域通過フィルタ26の各伝達関数の積になっている。従って、前記比例微分器42の出力である電流補償値 $\Delta I_c$ は下記数8で求めることができる。ただし、電機子インダクタンスの公称値を $L_n$ 、電機子抵抗の公称値を $R_n$ とする。

【数8】

$$\Delta I_c = \frac{\omega_{F1} \omega_{F2}}{(s + \omega_{F1})(s + \omega_{F2})} \left\{ \frac{(L_n s + K_A + R_n)(K_T n I_M - J_M \omega_M s)}{K_A K_T n} \right\}$$

【0067】前記電流補償値 $\Delta I_c$ は、加算器8に入力され、電流指令値 $I_{ref}$ と加算され新たな電流指令値 $I_c$ として加算器9に送られる。

【0068】前記低域通過フィルタ26の遮断周波数 $\omega_{F1}$ と、低域通過フィルタ31の遮断周波数 $\omega_{F2}$ とを制御対象の固有周波数よりも充分大きく設定すれば、外乱トルク $T_d$ の推定、及び電流補償値 $\Delta I_c$ の演算の遅れは非常に小さくなり、事実上その遅れを無視しても差し支えなく、電流補償値 $\Delta I_c$ として数5を採用しても合理性を失わない。

【0069】また、遮断周波数 $\omega_{F1}$ 、 $\omega_{F2}$ は、制御対象の固有周波数よりも充分大きいという条件を満足すれば同一でも異なってもよい。電流補償値 $\Delta I_c$ を数5とすれば、電流指令値 $I_{ref}$ 及び外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数は数7となり、数3の第1項と等しいと考えて良く、数3においてを略1とした場合の第1項と等価とであり、外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_M$ までの伝達関数である数3の第2項に相当する項は消えることは実施の形態1の場合と同様である。

【0070】図3に実際にシミュレーションを行った時の、速度制御系のモータ1の諸定数を代入したブロック図を示す。諸定数は従来例と同じくそれぞれ、 $L = 5.7 \text{ mH}$ 、 $R = 18 \Omega$ 、 $K_T = 0.183 \text{ Nm/A}$ 、 $K_E = 0.183 \text{ Vs/rad}$ 、 $J_M = 3.06 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$ 、 $\omega_{F1} = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ 、 $K_A = 32$ 、 $K_I = 60$ 、 $K_P = 3$ 、 $K_V = 1.72 \times 10^{-2}$ とし、また $\omega_{F2} = 1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ とした。

【0071】図4は前記ブロック図に基づいて行ったシミュレーションの結果を示すものであり、モータ1の回転速度をrpm、モータ電流値をアンペア(A)で併せて示してある。モータ1の起動後0.2秒で0.3Nmの大きさの外乱トルク $T_d$ をモータ軸に与え、起動後0.5秒で外乱トルク $T_d$ を取り去った場合のシミュレーションである。

【0072】図5は前記定数で表されるモータ1を2台連結し、一台を被制御モータ、他方を負荷用のモータとして実験したときの被制御モータの実測値である。モータ1の回転速度をrpm、モータ電流値をアンペア(A)で併せて示してあることは図4の場合と同様である。但し、モータ1は1000rpmで定常回転しており、図5は外乱トルク $T_d$ を印加、除去したときのみを示している。

【0073】図4、図5から明らかなように、シミュレーション結果と実測値とはよく一致しており、また数7が示すとおり外乱トルク $T_d$ からモータ1の回転出力への影響は極小に抑圧されている。

【0074】尚、本実施の形態2では、前記比例微分器42を図6に示す回路例に示すように合計4個の演算増幅器51乃至55を用いて構成することができる。また、回転速度や電機子電流等の値をアナログ/デジタル変換した後、デジタル信号プロセッサを用いた数値演算により前記比例微分器42と同様な比例微分機能を実現するようにすることもできる。

【0075】また、推定して求めた外乱トルク $T_d$ の推定値 $T_{d0}$ を、遮断周波数 $\omega_{F1}$ の低域通過フィルタ26の伝達関数との積を伝達関数として持つ比例微分器42と、トルク定数 $K_T$ の公称値 $K_T n$ の逆数 $1/K_T n$ のゲインを持つ増幅器3とにより、比例微分して求めた値を電流補償値 $\Delta I_c$ として電流指令値 $I_{ref}$ に加え、新たな電流指令値 $I_c$ とすることにより、数7に示すように、電流指令値 $I_{ref}$ に対するモータ1の応答特性を高くするための電流増幅器10のゲイン $K_A$ を飽和等の問題のない最適値にすることができ、また外乱トルク $T_d$ からモータ速度 $\omega_{F1}$ への影響を全て抑圧することができる。

【0076】このことは、コンピュータによるシミュレーション、及び実験で確認されたとおりである。また、

前記比例微分器 4 2 を低域通過フィルタ 3 1 と増幅器 2 8、2 9 と加算器 3 2 とにより構成したので、ノイズの影響の少ない特性の優れた速度制御装置を提供できる。  
【００７７】

【発明の効果】以上説明した本発明によれば、電流ルー

プの特性を補償し、外乱トルクオブザーバの特性を向上させ、応答性が良く、外乱抑圧能力が高く、実用性の高い高性能なモータの速度制御方法及び速度制御装置を提供できる。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: Small prints

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**